

유한요소해석을 통한 소형복합터닝센터의 구조 최적화 Structural Optimization of Compact Complex Turning Center via Finite Element Analysis

*최기수¹, 정승민¹, 오창원¹, 이상규¹, 김태원¹, 하재용¹

*#K.S.Choi¹(kisoo.choi @doosan.com), S.M.Jeong¹, C.W.Oh¹, S.K.Lee¹, T.W.Gim¹, J.Y.Ha¹

¹두산인프라코어(주)

Key words : Compact Turning Center, Structural Optimization, FEA, Parameter Study, Contribution analysis

1. 서론

자동차나 일반기계, 의료산업에서 사용되는 중·소형의 복잡한 형상의 가공에 대한 수요가 증가함에 따라 공작기계 분야에서도 Y-축 기능을 장착한 저가 보급형 시장이 형성되고 새로운 경쟁시장으로 시장을 구성할 것으로 평가된다.

본 연구에서는 중 소형 경제형 장비의 경쟁력을 확보하고, Y-축 모델의 시장확대를 위해 경제형 Y-축 모델을 개발함에 있어 동반되는 구조해석 프로세스를 소개하고, 이를 통한 구조 최적화 사례를 제시하고 있다.

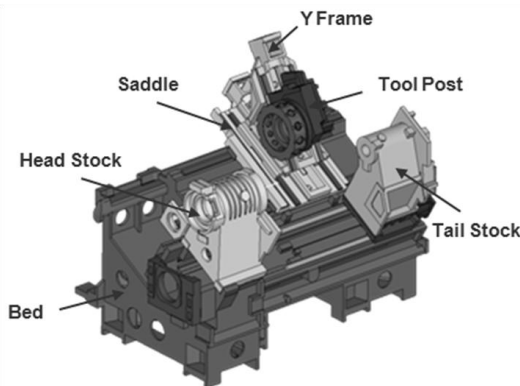


Fig. 1 Basic Modeling

2. 기본 구조

Fig.1 은 본 논문에서 구조해석의 대상으로 이용한 소형복합터닝센터의 주요 구조물을 나타낸 것이다. 6", 8" 크기의 3축 메인 스피들

및 5"의 서브 스피들을 바탕으로 정밀가공을 위해 LM 안내면이 구성되며, 강성 확보에 유리한 경사축 제어 방식이 채택된다.

Table 1 에 주요재원을 표기하였다.

Table 1 Specification

Travel [mm]	X/Y/Z/B	205/105/560/560
Rapid traverse [m/min]	X/Y/Z/B	30/10/36/30
Main spindle [RPM]	6"/8"	6,000/4,500
Sub spindle [RPM]	5"	6,000
Tool post		BMT45P
Total mass [kg]		3,870

3. 구조해석

3.1 연결부 강성 도출

정확한 구조해석을 위해서는 구조물의 물성치뿐만 아니라 연결부의 강성 확보 또한 중요한 인자로 작용한다. 해석 신뢰도를 높이기 위해 개발기종과 유사한 사이즈의 기존 장비에 대해 주파수 응답특성 시험을 진행하고, HyperWorks Optistruct 모듈을 이용하여 특정 모드형상과 주파수 값을 목적함수로 정의한 후 레벨링 볼트와 LMG 의 강성값을 도출하였다. 해석 결과 Table 2 와 같이 레벨링 볼트의 경우 3.8%, 이송계 LMG 는 4.6% 이내의 주파수 오차를 갖는 강성값을 확보할 수 있었다.

Table 2 Parameter Study of Leveling Bolt Stiffness

	1 st mode	2 nd mode	3 rd mode	4 th mode
Experiment [Hz]	45.2	61.3	86.1	149.2
Analysis [Hz]	45.2	61.4	85.2	143.6
Error factor [%]	0	0.2	1.0	3.8

Table 3 Parameter Study of LMG Stiffness

	7 th mode	1 st mode	2 nd mode	3 rd mode
Experiment [Hz]	170.9	28.4	45.6	63.9
Analysis [Hz]	170.9	27.1	44.3	61.9
Error factor [%]	0.0	4.6	2.9	3.1

3.2 기여도 분석

개발초안에서 상대적인 취약부 파악을 위해 주요 구조물의 기여도를 분석하였다. 기여도는 특정 유닛을 강체 상태로 가정한 후 정/동적인 측면에서 구조적으로 전체 시스템에 미치는 영향을 분석하였다.

루프정강성 기여도

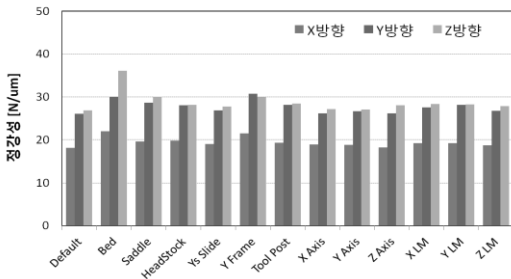


Fig. 2 Contribution to Loop Stiffness

고유진동수 기여도

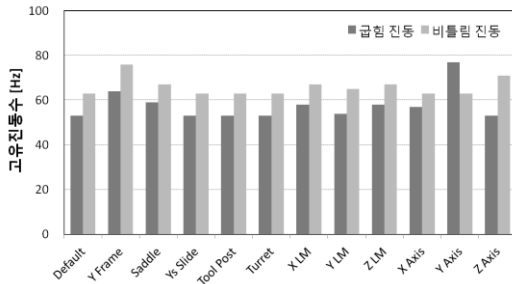


Fig. 3 Contribution to Nature Frequency

Fig.2 는 루프 정강성 해석 결과를 나타낸 것으로 값이 높을수록 상대적인 강성이 낮음을 의미한다. 취약부위의 강성 확보를 통해 절삭 시 변형에 의해 유발되는 가공물의 치수 오차 및 자중에 의한 진직도와 직각도 등의 오차를 저감시킬 수 있다. 이러한 측면에서 베드와 Y-프레임의 변형이 전체 시스템의 강성저하에 미치는 영향이 가장 높은 것을 알 수 있다.

한편 가공 시 이송계의 변형에 의해 가공오차가 발생하거나 표면조도가 저하될 수 있으므로, 이송계의 고유진동수 향상 측면에서 Fig.3 과 같이 관련부의 기여도를 분석하였으며, Y-프레임의 보강효과가 큰 것으로 나타난다.

3.3 최적 설계안 도출

본 연구에서는 주분력이 작용하는 X 방향의 루프 정강성 향상 및 이송계 비틀림 저감에 중점을 두고 최적화를 진행하였다. 베드의 경우 X 방향 하중작용 시 헤드스톡 체결부에서 응력이 집중되기에 체결부의 구조물 전체 높이를 낮추고, 면적을 넓히는 방향으로 보강하였다. 내부 리브의 경우 구조해석을 통해 최적의 리브 형상 및 주공 사이즈를 선정하여 반영하였다. 또한 Y-프레임의 경우 구조물의 형상을 좌/우 측면, 아랫면, 너트부 등 다시 세분화하여 각 부분의 응력 및 변형상태를 확인하고 부분 기여도에 따라 보강 필요여부를 판단하였다.

구조 최적화 모델과 초기모델의 정/동적 특성을 비교한 결과, X 방향 루프 정강성은 10% 가량 증가하였으며, 이송계의 비틀림을 발생시키는 고유진동수가 8% 향상되었다.

4. 결론

본 연구는 소형복합터닝센터 개발에 앞서 기본 컨셉을 유지하면서 구조 최적화를 통한 충분한 강성 확보를 목적으로 하였다. 충격 시험으로 바닥 및 각 연결부 강성을 확립하고, FEM 해석으로 초기모델의 취약부를 규명한 후 구조 보강을 통해 정/동적 특성을 향상시켰다. 향후 개발기종에 대해 동일한 프로세스의 구조해석을 적용하여 개발 단가 절약 및 고효율의 절삭성능을 기대해 본다